

## TINJAUAN DENSITAS RADIOGRAF PADA BERBAGAI KETEBALAN STEP WEDGE BERBASIS VARIASI ARUS TABUNG

### Review of Radiograph Density on Various Step Wedge Thickness Based on Variation of Tube Current

Dian Nuramdiani\*, Sarengat, Iman Maulana

Department of Radiology, Politeknik Al Islam Bandung, Jawa Barat, Indonesia

#### Kata Kunci

Arus Tabung  
Densitas  
Radiograf  
Sinar X

#### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau densitas radiograf dengan berbagai variasi arus tabung. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Radiologi Politeknik Al Islam Bandung. Penelitian ini dilaksanakan sebagai optimalisasi hasil pemeriksaan Pesawat Sinar-X agar citra yang dihasilkan memiliki kualitas baik dengan radiasi yang diberikan kepada pasien tetap dalam jumlah sekecil mungkin dan berada dalam nilai batasan yang aman. Eksposi dilakukan terhadap step wedge, dengan variasi arus tabung yang digunakan adalah sebesar 5 mAs, 8 mAs, 10 mAs, dan 12,5 mAs, serta tegangan 80 kV dan waktu paparan selama 0,05 s diatur sebagai variable yang tetap. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin besar arus tabung nilai densitas yang terukur semakin besar. Adapun terkait dengan ketebalan materi yang dilalui sinar X, semakin tebal materi yang dilalui maka nilai densitas yang terukur semakin kecil. Selanjutnya untuk berbagai variasi arus tabung yang dipilih, nilai optimal yang diperoleh adalah untuk nilai arus tabung sebesar 5 mAs. Hal ini ditunjukkan melalui koefisien determinasi antara arus tabung dan nilai densitas radiografi sebesar 0,9842. Namun demikian variasi arus tabung lainnya pun berada diatas nilai 0,90. Sehingga dapat disimpulkan bahwa besar nilai arus yang diberikan akan sangat berpengaruh terhadap nilai densitas radiograf yang dihasilkan.

#### Keywords

Tube Current  
Density  
Radiograph  
X Ray

#### Abstract

This research aimed to review the density of radiographs with different variations of tube currents. It was conducted at the Radiology Laboratory of Al Islam Polytechnic of Bandung. This study is an optimization of the results of the X-ray machine examination in order to produce good quality images with the smallest possible radiation given to the patient within a safe limit value. Exposures were carried out on the step wedge with different tube currents of 5 mAs, 8 mAs, 10 mAs, 12.5 mAs, and 80 kV voltage, as well as the exposure time of 0.05 second which was set as a constant variable. The measurement results showed that the greater the tube currents were, the greater the measured density value would be. In accordance with the thickness of the material passed by the X-rays, the thicker the material was, the smaller the value of the measured density would be. Furthermore, among different selected tube currents, the tube current value of 5 mAs became the optimal value. It was indicated by the coefficient of determination between the tube current and the radiographic density value of 0.9842. However, other tube current variations were also more than 0.90. Consequently, it can be concluded that current values will greatly affect the density value of radiographs.

©2021 The Author  
p-ISSN 2338-3240  
e-ISSN 2580-5924

Received 04 February 2021; Accepted 12 May 2021; Available Online 30 August 2021

\*Corresponding Author: [nenkdee@gmail.com](mailto:nenkdee@gmail.com)

## PENDAHULUAN

Sinar-X adalah pancaran gelombang elektromagnetik yang sejenis dengan gelombang radio, cahaya tampak (*visible light*) dan sinar ultraviolet, tetapi dengan panjang gelombang yang sangat pendek yaitu hanya 1/10.000 panjang gelombang cahaya tampak. Karena panjang gelombangnya yang pendek, maka sinar-X memiliki daya tembus tinggi terhadap material yang dilaluinya [1].

Pemanfaatan sinar-X dalam radiodiagnostik di dunia kedokteran sangat menunjang dalam

penegakkan diagnosis. Secara tidak langsung hal ini akan memberikan kontribusi radiasi yang berasal dari sumber radiasi buatan terhadap pasien. Kontribusi radiasi buatan akan menimbulkan efek biologis yang secara langsung atau tidak langsung akan diderita oleh pasien. Oleh karena itu optimalisasi hasil pemeriksaan Pesawat Sinar-X radiografi sangat diperlukan agar citra yang dihasilkan memiliki kualitas baik dengan radiasi yang diterima pasien tetap dalam jumlah sekecil mungkin dan berada dalam nilai batasan yang aman [2]-[3].

Dalam pemeriksaan radiologi, sinar-X yang dipancarkan dari tabung pesawat diarahkan pada bagian tubuh yang akan didiagnosa. Berkas sinar-X tersebut akan menembus bagian tubuh dan akan ditangkap oleh film, sehingga akan terbentuk gambar dari bagian tubuh yang disinari. Sebelum pengoperasian pesawat sinar-X perlu dilakukan pengaturan beberapa parameter sebagai faktor eksposi. Faktor eksposi yaitu faktor yang mempengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas dari penyinaran radiasi sinar X yang diperlukan dalam pembuatan gambar radiografi [4]. Parameter-parameter tersebut adalah tegangan (kV), arus tabung (mA), lamanya waktu paparan (s), dan jarak antara tabung dengan reseptor [5]-[9].

Arus tabung dan waktu penyinaran merupakan faktor yang saling terikat dalam menentukan intensitas sinar-X yang dipancarkan ke tubuh pasien yang akan ditangkap oleh film sehingga akan terbentuk gambaran organ yang diperiksa. Perubahan arus tabung dan faktor waktu eksposi dapat memberikan rentang densitas yang berbeda pada film serta berpengaruh pada intensitas sinar-X yang dikeluarkan, juga dosis radiasi yang diterima oleh pasien akan semakin meningkat [6],[10].

Sifat penting dari film radiograf yang digunakan adalah kemampuan sinar-X untuk menghasilkan pola kehitaman yang bervariasi dari film. Pengambilan citra radiograf memungkinkan film akan terpapar oleh sinar-X secara menyeluruh dan transmisi cahaya tampak yang terjadi bervariasi. Tingkat derajat kehitaman suatu gambaran radiografi akibat adanya interaksi sinar-X dengan emulsi film ini disebut dengan Densitas [11].

Sebuah radiograf diharuskan bisa memberikan informasi yang jelas dalam upaya menegakan diagnosa. Ketika radiograf yang dihasilkan mempunyai semua informasi yang dibutuhkan dalam memastikan sebuah diagnosa maka radiograf dikatakan memiliki kualitas gambar yang tinggi. Densitas citra radiograf nilai optimalnya adalah berada dalam rentang densitas guna (*useful density*), yakni sekitar 0,25-2,5 [4]. Dibawah 0,25 citra terlalu terang dan di atas 2,5 citra terlalu gelap.

Dalam menganalisa citra radiograf bergantung pada nilai densitas yang tepat, karena gambaran radiograf yang baik harus dapat memperlihatkan semua struktur organ yang diekspos. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk meninjau nilai densitas radiograf yang terbentuk melalui variasi nilai arus tabung, dengan harapan dapat diperoleh nilai arus tabung yang optimal untuk

memperoleh nilai densitas yang sesuai sehingga dapat membantu menegakkan diagnosa dengan baik.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, dengan menggunakan metode eksperimen. Data dikumpulkan melalui percobaan langsung dengan memberikan paparan terhadap objek atau material step wedge. Beberapa variasi nilai arus tabung (mAs) digunakan dengan tujuan untuk meninjau perbedaan nilai derajat kehitaman film yang terbentuk. Selanjutnya dilakukan pengukuran densitas terhadap hasil radiografi menggunakan densitometer untuk setiap perubahan variasi arusnya.

### Alat dan Bahan

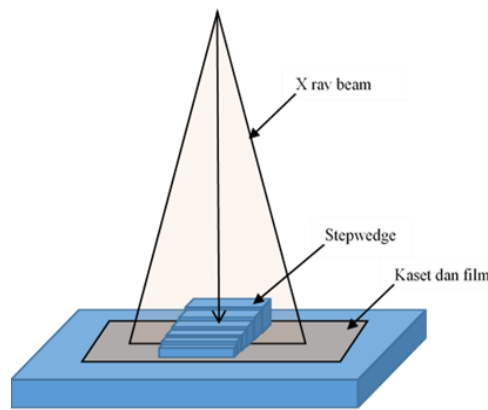
Dalam penelitian ini alat dan bahan yang digunakan adalah:

- 1) Pesawat X-Ray (merk Toshiba KXO-25S Tipe DRX-1603B dengan nomor seri: 14C915F, dengan kondisi tegangan dan arus tabung maksimal sebesar 150 kV dan 320 mA)
- 2) Film X Ray tipe *double emulsion* (merk AFGA dengan ukuran 18 x 25 cm)
- 3) Kaset dan lembar *Intensifying Screen*
- 4) *Step wedge* bermaterial timbal
- 5) Densitometer
- 6) *Automatic Processing Film*

### Prosedur Penelitian

Untuk prosedur pengambilan data dilakukan melalui eksposi sebanyak empat kali dengan menggunakan tegangan dan waktu paparan masing-masing 80 kV dan 0,05 s yang dibuat konstan. Selanjutnya keempat eksposi dilakukan dengan melakukan variasi arus tabung, mulai dari 100 mA, 160 mA, 200 mA, dan 250 mA, atau setara dengan 5 mAs, 8 mAs, 10 mAs, dan 12,5 mAs dengan pengaturan kolimasi yang sama untuk setiap variasi. Skema penelitian yang dilakukan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Untuk melihat hasil gambaran yang dihasilkan digunakan *automatic processing*, selanjutnya gambaran radiograf yang terbentuk diukur densitasnya menggunakan densitometer. Data hasil pengukuran yang sudah terkumpul selanjutnya dianalisis dan dibuat kurva karakteristiknya dengan menggunakan Microsoft excel.



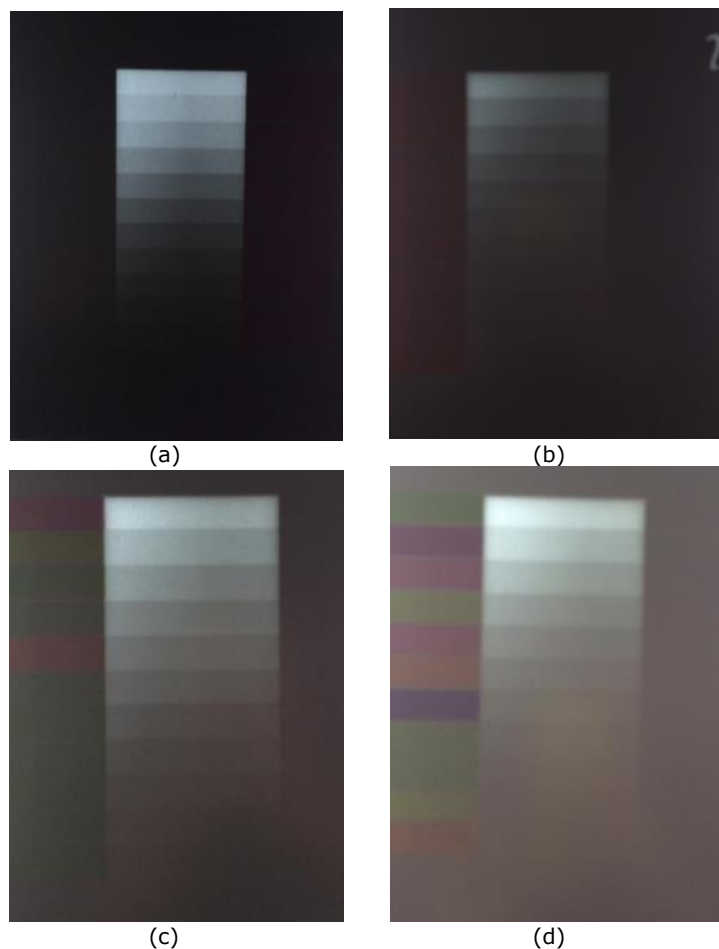
Gambar 1. Skema penelitian dengan objek step Wedge

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Penelitian**

Pola pada film sinar-X mempunyai tingkat keabuan (*gray scale*) yang berbeda-beda. Film yang telah terpapar sinar-X dan diolah di kamar gelap secara kimiawi menghasilkan densitas yang terang berasal dari bagian objek yang nilai koefisien attenuasi liniernya tinggi sehingga sebagian besar sinar-X banyak diserap oleh

objek tersebut. Sedangkan film dengan densitas yang hitam dihasilkan dari transmisi sinar-X yang menembus objek dengan koefisien attenuasi linier rendah. Perbedaan densitas gelap terang dari film inilah yang menyebabkan timbulnya kontras. Hasil radiografi terhadap objek step wedge dari setiap variasi arus tabung yang di gunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Radiografi Hasil Eksposi dengan Arus Tabung bervariasi (a) 100 mA, (b) 160 mA, (c) 200 mA, dan (d) 250 mA

Sebuah radiograf diharuskan bisa memberikan informasi yang jelas dalam upaya

menegakan diagnosa [12]. Ketika radiograf yang dihasilkan mempunyai semua informasi yang

dibutuhkan dalam memastikan sebuah diagnosa maka radiograf dikatakan memiliki kualitas gambar yang tinggi. Untuk memenuhi kualitas gambar radiografi yang tinggi, maka sebuah radiograf harus memenuhi beberapa aspek yang akan dinilai pada sebuah radiograf, salah satunya adalah densitas.

Untuk setiap nilai mA, hasil radiografi yang terbentuk diukur densitasnya sebanyak 3 kali pengulangan. Hal ini dilakukan untuk mengatasi ketidakpastian pengukuran, dan juga untuk memastikan akurasi dan presisi dari alat ukur yang digunakan. Data hasil pengukuran densitas untuk setiap variasi arus tabung yang digunakan sebagaimana yang tercantum dalam Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.

Kuat arus yang diberikan pada tabung sinar-X harus dikombinasikan dengan waktu eksposi yang dinyatakan dalam *second* (s). Kombinasi antara kuat arus dengan waktu yang diberikan ke tabung sinar-X yang kemudian disebut dengan mAs. Data yang terdapat dalam Tabel 1 sampai dengan Tabel 4, jika dikompilasikan ke dalam tabel data hasil pengukuran densitas untuk berbagai ketebalan step wedge dengan berbagai variasi arus tabung dapat dilihat sebagaimana Tabel 5.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Nilai Densitas dengan Arus 100mA

Step	Nilai Densitas			Rata-rata
	Pengukuran ke 1	Pengukuran ke 2	Pengukuran ke 3	
1	0,20	0,20	0,22	0,21
2	0,28	0,32	0,26	0,29
3	0,41	0,47	0,41	0,43
4	0,57	0,61	0,56	0,58
5	0,72	0,78	0,73	0,74
6	0,87	0,92	0,88	0,89
7	1,03	1,05	1,02	1,03
8	1,12	1,15	1,12	1,13
9	1,22	1,24	1,22	1,23
10	1,29	1,31	1,29	1,30
11	1,35	1,37	1,35	1,36

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Nilai Densitas dengan Arus 160mA

Step	Nilai Densitas			Rata-rata
	Pengukuran ke 1	Pengukuran ke 2	Pengukuran ke 3	
1	0,40	0,52	0,60	0,51
2	0,59	0,63	0,70	0,64
3	0,72	0,78	0,83	0,78
4	0,86	0,93	0,96	0,92
5	0,99	1,04	1,07	1,03
6	1,11	1,15	1,16	1,14
7	1,19	1,24	1,25	1,23
8	1,28	1,31	1,31	1,30
9	1,33	1,36	1,36	1,35
10	1,39	1,40	1,40	1,40
11	1,43	1,44	1,43	1,43

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Nilai Densitas dengan Arus 200mA

Step	Nilai Densitas			Rata-rata
	Pengukuran ke 1	Pengukuran ke 2	Pengukuran ke 3	
1	0,68	0,66	0,72	0,69
2	0,74	0,78	0,82	0,78
3	0,85	0,90	0,94	0,90
4	0,96	0,90	0,94	0,93
5	1,07	1,11	1,14	1,11
6	1,17	1,20	1,22	1,20
7	1,24	1,27	1,29	1,27
8	1,30	1,32	1,33	1,32
9	1,35	1,36	1,37	1,36
10	1,39	1,40	1,40	1,40
11	1,41	1,42	1,42	1,42

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Nilai Densitas dengan Arus 250mA

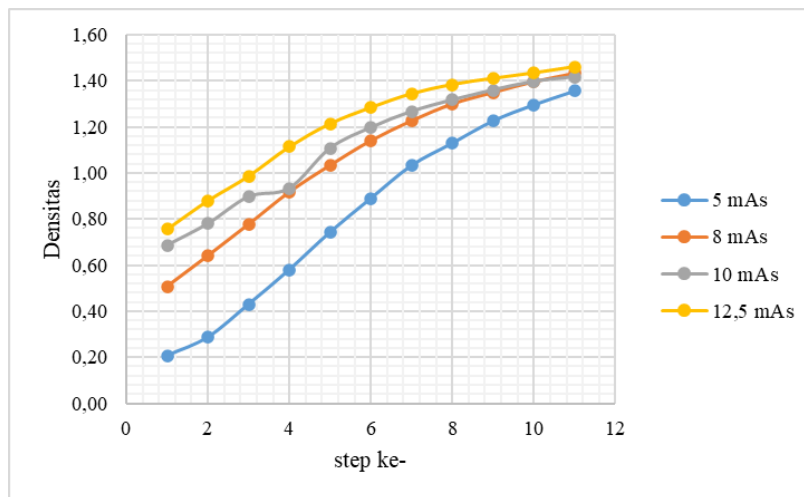
Step	Nilai Densitas			Rata-rata
	Pengukuran ke 1	Pengukuran ke 2	Pengukuran ke 3	
1	0,68	0,79	0,80	0,76
2	0,81	0,91	0,92	0,88
3	0,93	1,01	1,02	0,99
4	1,07	1,13	1,14	1,11
5	1,17	1,23	1,24	1,21
6	1,25	1,30	1,30	1,28
7	1,31	1,36	1,36	1,34
8	1,36	1,39	1,40	1,38
9	1,39	1,42	1,42	1,41
10	1,42	1,44	1,44	1,43
11	1,44	1,45	1,49	1,46

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Nilai Densitas Berbagai Ketebalan Stepwedge dengan Berbagai Variasi Arus Tabung

Step	Nilai Densitas			
	5 mAs	8 mAs	10 mAs	12,5 mAs
1	0,21	0,51	0,69	0,76
2	0,29	0,64	0,78	0,88
3	0,43	0,78	0,90	0,99
4	0,58	0,92	0,93	1,11
5	0,74	1,03	1,11	1,21
6	0,89	1,14	1,20	1,28
7	1,03	1,23	1,27	1,34
8	1,13	1,30	1,32	1,38
9	1,23	1,35	1,36	1,41
10	1,30	1,40	1,40	1,43
11	1,36	1,43	1,42	1,46

Pada Tabel 5 diperlihatkan variasi nilai densitas berubah untuk setiap tingkatan stepwedge dan nilai arus tabung yang diberikan. Pada arus 5 mAs diperoleh nilai minimum sebesar 0,21 dan nilai maksimum sebesar 1,36. Pada arus 8 mAs diperoleh nilai minimum sebesar 0,51 dan nilai maksimum sebesar 1,43. Pada arus 10 mAs diperoleh nilai minimum sebesar 0,69 dan nilai maksimum sebesar 1,42. Pada arus 12,5 mAs diperoleh nilai minimum sebesar 0,76 dan nilai maksimum sebesar 1,46.

Adapun jika dituangkan dalam grafik hubungan antara perubahan arus tabung dengan densitas ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara perubahan arus tabung dengan densitas

### Pembahasan

Film sebagai suatu media yang digunakan untuk mencatat bayangan obyek yang dihasilkan dari proses pemotretan menggunakan sinar-X berperan sangat penting dalam memberikan perbedaan nilai densitas [10]. Densitas adalah derajat kehitaman dari keseluruhan bagian film yang secara kualitas ditujukan dengan banyaknya jumlah logam perak yang diendapkan dalam emulsi film sebagai hasil dari penyinaran radiasi sinar-X dan prosedur pengolahannya. Semakin tebal endapan perak hitam, semakin besar kuantitas cahaya yang diserap oleh film dan semakin gelap bayangan atau gambar daerah tersebut. Densitas sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas foto rontgen perlu diperhatikan keberadaannya. Nilai densitas suatu foto rontgen dapat diukur dengan menggunakan alat densitometer. Densitas foto rontgen yang optimal sekitar 0,25 - 2,50. Di bawah 0,25 terlalu terang dan di atas 2 terlalu gelap [4]. Tabel 5 menunjukkan data hasil pengukuran densitas radiografi dari step wedge dengan berbagai variasi arus tabung dengan seluruh data menunjukkan nilai yang sesuai dengan rentang densitas yang ditentukan, yakni antara 0,25-2,50, kecuali satu nilai pengukuran yang masih memiliki nilai 0,21, yaitu pada step ke 1 untuk nilai arus 5 mAs.

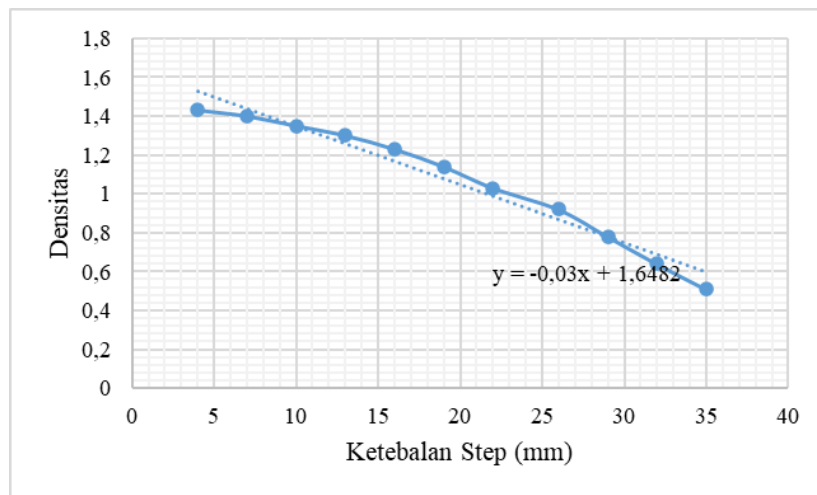
Nilai mAs, secara langsung proporsional dengan intensitas sinar-X. Pengaruh kenaikan nilai miliampere-second (mAs) yang berbeda yang akan mempengaruhi jumlah elektron yang dihasilkan oleh filament. Semakin tinggi nilai miliampere maka akan semakin meningkatkan jumlah (intensitas) elektron yang akan

memproduksi sinar-X. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Bushong [12], bahwa ketika mAs dinaikkan dua kali lipat, maka jumlah elektron yang ditembakkan ke target juga bertambah dua kali lipat, begitu juga dengan banyaknya emisi sinar-X juga naik dua kali lipat. Semakin tinggi konsentrasi elektron maka akan semakin meningkatkan resolusi gambar [11].

Hal lain ditunjukkan oleh Tabel 6, mengenai hubungan Densitas radiograf dengan ketebalan step yang dilalui sinar X. Tabel 6 menunjukkan adanya intensitas radiasi sinar X yang berkurang sejalan dengan ketebalan materi yang dilaluinya, akibat penyerapan sinar X oleh materi yang lebih tinggi. Sebagaimana diketahui bahwa salah satu aspek yang menjadi faktor besarnya atenuasi sinar X adalah ketebalan bahan, selain dari nomor atom, kerapatan bahan, dan kekerasan bahan, sehingga akan terjadi pola intensitas secara eksponensial menurun sebanding dengan bertambahnya ketebalan [13, 14]. Grafik hubungan ketebalan terhadap nilai densitas dari penelitian ini ditunjukkan Gambar 4 (Tabel 6 dan Gambar 4 diambil untuk nilai arus tabung sebesar 8 mAs).

Tabel 6. Data Hubungan Ketebalan Step yang Dilalui Sinar X dengan Nilai Densitas Radiografi

Step	Ketebalan (mm)	Densitas
1	35	0,51
2	32	0,64
3	29	0,78
4	26	0,92
5	22	1,03
6	19	1,14
7	16	1,23
8	13	1,30
9	10	1,35
10	7	1,40
11	4	1,43



Gambar 4. Grafik hubungan ketebalan step dan densitas radiografi

Data pada Tabel 6 sejalan dengan data pada Tabel 5, bahwa densitas radiografi yang dihasilkan pada ketebalan yang paling kecil (step 11/ 4 mm) (80 kVp/5 mAs, 80 kVp/8 mAs, 80 kVp/10 mAs, dan 80 kVp/12,5 mAs) memiliki nilai densitas paling besar dibandingkan dengan nilai densitas pada step yang lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan nilai arus tabung terhadap nilai densitas radiasi untuk berbagai ketebalan step wedge memiliki hubungan yang sebanding, namun berbanding terbalik dengan ketebalan materi yang dilaluinya [13]. Sehingga semakin tebal materi maka densitas yang dihasilkan akan semakin kecil, pun demikian sebaliknya.

Analisis regresi pun dilakukan untuk menentukan hubungan antara dua variable [15], dalam hal ini variasi arus tabung dengan nilai densitas radiograf, yang selanjutnya hubungan regresi ini dinyatakan dalam bentuk hubungan atau fungsi. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) digunakan dalam penelitian ini untuk menunjukkan seberapa kuat pengaruh nilai arus tabung terhadap nilai densitas yang dihasilkan (dalam hal ini faktor eksposi lainnya dianggap konstan).

Koefisien deterministik untuk keempat variasi nilai arus tabung memiliki nilai yang berbeda. Nilai terbesar diperoleh untuk arus tabung sebesar 5 mAs, yakni sebesar 0,9842. Angka ini dapat menunjukkan bahwa untuk pengaturan faktor eksposi 80 kV, dan waktu eksposi selama 0,05 sekon dapat menghasilkan densitas optimal dengan pengaturan arus tabung sebesar 5 mAs. Nilai regresi linier dikatakan optimal apabila hasilnya  $R^2$  mendekati angka 1 [15]. Semakin tinggi nilai regresi liniernya ( $R^2$ ), data yang diperoleh semakin terikat adanya kesesuaian dari setiap data.

Demikian pula untuk nilai  $R^2$  ketiga variasi nilai arus tabung lainnya yang secara berturut-turut bernilai 0,9601 (8 mAs), 0,9559 (10 mAs),

dan 0,9236 (12,5 mAs), yang keseluruhannya berada di atas nilai 0,90, dan dapat menunjukkan bahwa densitas radiograf yang terbentuk sangat tergantung kepada besaran arus tabung yang diberikan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa untuk nilai tegangan dan waktu eksposi yang tetap, nilai densitas radiograf bertambah sejalan dengan besarnya Arus tabung yang diberikan. Hal ini disebabkan arus tabung memicu terbentuknya elektron yang akan menghasilkan sinar X. Semakin besar arus tabung yang diberikan, maka berkas sinar X yang terbentukpun akan semakin banyak, sehingga Intensitas sinar X yang akan menembus ke dalam radiograf akan semakin besar pula. Namun demikian nilai densitas radiograf yang terbentuk akan menurun sejalan dengan bertambahnya ketebalan materi yang dilaluinya. Hal ini disebabkan akibat banyaknya intensitas radiasi sinar X yang terserap pada bahan yang memiliki ketebalan lebih tinggi.

Untuk pengaturan besar tegangan 80 kV dan waktu eksposi 0,05 second, nilai optimal arus tabung untuk menghasilkan nilai densitas radiograf adalah 5 mAs atau 100 mA. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan koefisien determinasi antara arus tabung dengan nilai densitas yang terukur sebesar 0,9842. Angka ini adalah angka tertinggi dibandingkan dengan koefisien determinasi untuk nilai variasi arus lainnya. Namun demikian variasi arus tabung lainnya pun berada diatas nilai 0,90. Hal ini menunjukkan bahwa nilai densitas radiografi sangat ditentukan oleh besaran arus tabung yang diatur.

## Saran

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan peninjauan lebih jauh terhadap faktor-faktor eksposi lainnya untuk mengetahui dan menghasilkan kualitas citra radiograf yang paling optimal. Demikian pula penelitian dapat dikembangkan ke arah lainnya seperti proses pengolahan citra, penggunaan berbagai bahan untuk perisai dalam rangka proteksi radiasi, pengukuran dosis radiasi, ataupun manajemen penggunaan radiasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Akhadi, "Analisis Unsur Kelumit Melalui Pancaran Sinar Karakteristik," *Buletin Alara*, pp. 11-19, 2006.
- [2] M. Akhadi, *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta: Rineka Cipta, 2000.
- [3] E. Sparzinanda, N. and N. , "Pengaruh Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra radiografi," *Journal of Physics*, vol. 3, no. 1, pp. 14-22, 2017.
- [4] S. S. and N. A. K, "Variasi Nilai Eksposi Aturan 15 Persen pada Radiografi Menggunakan Imaging Plate untuk Mendapatkan Kontras Tertinggi," *Berkala Fisika*, pp. 45-52, 2008.
- [5] A. W. Sari and E. Fransiska, "Pengaruh Faktor Eksposi dengan Ketebalan Objek pada Pemeriksaan Foto Thorax terhadap Gambaran Radiografi," *Journal of Health*, vol. 5, no. 1, pp. 17-21, 2018.
- [6] A. Fahmi, K. S. Firdausi and W. S. Budi, "Pengaruh Faktor Eksposi pada Pemeriksaan Abdomen terhadap Kualitas Radiograf dan Paparan Radiasi Menggunakan Computed Radiography," *Berkala Fisika*, vol. 11, no. 4, pp. 109-118, 2008.
- [7] Suyatno and S. Bachtiar, "Analisis Pembentukan Gambar dan Batas Toleransi Uji Kesesuaian pada Pesawat Sinar X Diagnostik," in *Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, Yogyakarta, 2011.
- [8] A. P. Utami, D. A. Mulyani and A. N. Istiqamah, "Pengaruh Variasi Arus Tabung terhadap Kontras pada Pesawat Sinar X High Generator," *Jurnal Imejing Diagnostik*, vol. 6, pp. 11-15, 2020.
- [9] S. Rasad, *Radiologi Diagnostik*, Jakarta: Badan Penerbit FKUI, 2005.
- [10] A. S. Wibowo, J. Dahjono and A. N. Setiawan, "Profil Karakteristik Film Sinar X yang Digunakan pada bagian Radiologi Rumah Sakit / Puskesmas / Klinik di Kota Semarang," *Jurnal Riset Kesehatan*, vol. 3, no. 2, pp. 527-539, 2014.
- [11] A. Faesol and Y. A. Utomo, "Pengaruh Linearitas dan Resiprositas mAs Terhadap Intensitas Radiasi pada Pesawat Sinar X Merk Samsung," *Journal of Health Studies*, vol. 1, no. 2, pp. 178-185, 2017.
- [12] S. C. Bushong, *Radiologic Science for Technologists (10th Edition)*, United state of America: Mosby Company, 2013.
- [13] I. Setiyawan, H. Sutanto and K. S. Firdausi, "Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan pada Besi, Tembaga, dan Stainless Steel Sebagai Bahan Perisai Radiasi," *Youngster Physic Journal*, pp. 219-224, 2015.
- [14] A. Yanyah and H. Sutanto, "Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan dan Dosis Radiasi pada Variasi Kombinasi Kayu dan Aluminium," *Youngster Physics Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 87-92, 2015.
- [15] Sudjana, *Metode Statistik*, Bandung: Tarsito, 2001.